



Juha-Matti Okkonen

## **RAKENNUSTEN ULKOPUOLISTEN LÄMPÖJOHTOJEN LÄM- PÖHÄVIÖT ENERGIALASKENNASSA**

# **RAKENNUSTEN ULKOPUOLISTEN LÄMPÖJOHTOJEN LÄMPÖHÄVIÖT ENERGIALASKENNASSA**

Juha-Matti Okkonen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2015  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma

---

Tekijä: Juha-Matti Okkonen

Opinnäytetyön nimi: Rakennusten ulkopuolisten lämpöjohtojen lämpöhäviöt energialaskennassa

Työn ohjaaja: Veli-Matti Mäkelä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2015 Sivumäärä: 35

---

Työn tarkoituksena oli selvittää laskennallisesti esimerkkikohteiden putkien lämpöhäviöt vuodessa sekä verrata laskettuja lämpöhäviöitä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukossa annettuihin arvoihin. Lisäksi selvitettiin vaikuttavatko lämpöhäviöt energiatehokkuusluokkaan.

Työssä käytetyt esimerkkikohteet saatiin Nuotek Oy:ltä. Työ aloitettiin etsimällä toimivia kaavoja lämpöhäviöiden laskentaan ja laskemalla putkien lämpöhäviöt vuoden ajalta. Laskettiin esimerkkikohteiden E-luvut laskettujen lämpöhäviöiden perusteella ja niitä verrattiin esimerkkikohteiden energiatodistuksissa oleviin E-lukuihin. E-lukuvertailuun otettiin myös tilanne jossa putkien pituuksina käytettiin LVI-suunnitelman mukaisia putkipituuksia ja lämpöhäviöinä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukossa annettuja arvoja. Lisäksi tutkittiin kuinka mitoituslämpötilojen lasku on vaikuttanut lämpöhäviöihin ja minkälaisia kustannuksia lämpöhäviöistä aiheutuu esimerkkikohteissa. Työn tekijä ottaa myös kantaa E-laskennan tarkkuuteen.

Lämpöhäviöt laskettiin Chalmersin teknillisen yliopiston esittämällä tavalla. Lasketut lämpöjohtojen lämpöhäviöt jäivät reilusti alle Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukossa annettujen arvojen. Laskemalla lämpöhäviöt E-luku pieneni ja näin ollen paransi esimerkkikohteiden energiatehokkuutta. Käyttämällä LVI-suunnitelman mukaisia putkipituuksia ja Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 antamia lämpöhäviöitä ei päästy samoihin lämpöhäviöihin, joita energiatodistuksissa oli esitetty. Lämpöhäviöistä ei aiheudu rakennuksille suuria kustannuksia.

Lämpöhäviöt ovat pienentyneet, koska rakennusten energiatehokkuus on parantunut ja mitoituslämpötilat laskeneet. Yhteenvetona voidaan todeta, että Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukon arvoja tulisi päivittää vastaamaan nykyään käytettäviä lämmitysverkoston mitoituslämpötiloja.

---

Asiasanat: lämpöjohto, lämpöhäviö, energialaskenta, energiatodistus, E-luku, kestävä kehitys, 20-20-20, EU

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 ESIMERKKIKOhteet	7
2.1 Marski	7
2.2 Safiiri	8
2.3 Ukko-Pekka	9
3 LASKENTAMENETELMÄT	11
3.1 Lämpöhäviölaskenta	11
3.2 Lämmitysverkoston lämpötilat	16
4 LÄMPÖHÄVIÖLASKENNAN TULOKSET	18
4.1 Marski	18
4.2 Safiiri	19
4.3 Ukko-Pekka	21
5 VAIKUTUS E-LUKUUN	23
6 MITOITUSLÄMPÖTILOJEN VAIKUTUS LÄMPÖHÄVIÖIHIN	26
7 LÄMPÖHÄVIÖKUSTANNUKSET	29
8 E-LUVUN LASKENNAN TARKKUUS	31
9 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	34

# 1 JOHDANTO

Energiatehokkuus ja energiankulutuksen vähentäminen ovat Euroopan unionille (myöh. EU) tärkeitä tavoitteita. EU:ssa jokainen jäsenmaa huolehtii itse omasta energiapolitiikastaan. Kuitenkin yhteistyö ja energiaa koskevien tavoitteiden asettaminen on tiivistynyt EU:ssa vuosien myötä. (1.) 40 prosenttia EU:n kokonaisenergiankulutuksesta aiheutuu rakennuksista (2).

Euroopan unionin ilmasto- ja energiapolitiikassa asetettiin niin kutsuttu 20-20-20-tavoite lainsäädäntöpaketin yhteydessä huhtikuussa 2009. 20-20-20-tavoite tarkoittaa, että vuoteen 2020 mennessä Euroopan unionin kokonaisenergiankulutuksesta 20 prosenttia tulisi saada uusiutuvista lähteistä, kasvihuonepäästöjä tulisi vähentää 20 prosenttia ja energiatehokkuutta lisätä 20 prosenttia. Suomelle uusiutuvan energian käytön tavoitteeksi asetettiin 38 prosenttia vuoteen 2020 mennessä. (1.)

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä 2010/31/EU määrätään jäsenvaltioiden hyväksyttävän energiatehokkuuden laskentamenetelmä. Jokaisen jäsenvaltion on perustettava rakennusten energiatehokkuuden sertifiointijärjestelmä. (2.)

Suomessa E-luku ja energiatehokkuusluokka ovat osa energiatehokkuuden sertifiointijärjestelmää. E-luku on laskennallinen energiakertoimilla kerrottu energiankulutus nettopinta-alaa kohden vuodessa (3, s. 6). Laskenta suoritetaan Suomen rakentamismääräyskokoelman (myöh. RakMk) osien D3 ja D5 mukaan. Osassa D3 on esitetty energiatehokkuuden vaatimukset, energialaskennan lähtötiedot, energialaskennan laskentasäännöt ja tulosten määräystenmukaisuuden osoittaminen. Osassa D5 on esitetty ohjeet rakennuksen energiankulutuksen laskentaan. Energiatodistuksessa energiatehokkuus ilmaistaan kirjaintunnuksella joka kertoo rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen sijoittumisesta luokitteluasteikolla (4).

Tässä työssä selvitetään laskennallisesti esimerkkikohteiden putkien lämpöhäviöt vuodessa. Lämpöhäviöitä verrataan RakMk:n osan D5 taulukossa annettuihin arvoihin. Lisäksi selvitetään vaikuttavatko lämpöhäviöt rakennuksen E-lukuun ja energiatehokkuusluokkaan. Työssä tarkastellaan miten mitoituslämpötilat ovat muuttuneet Energiateollisuus ry:n julkaisun K1:n (myöh. K1) mukaan ja verrataan laskun vaikutusta lämpöhäviöihin. Lisäksi lasketaan lämpöhäviöistä aiheutuvat kustannukset. Työn aihe ja käytetyt esimerkkikohteet saatiin Nuotek Oy:ltä.

## 2 ESIMERKKIKOhteET

Esimerkkikohteet työhön saatiin Nuotek Oy:ltä. Kaikissa kohteissa on lämmitysmuotona kaukolämmitys vesikiertoisella lattialämmityksellä. Lämmönmyyjä toimittaa kaukolämmön erillisessä rakennuksessa olevaan lämmönjakokeskukseen, josta lämpö jaetaan asuinrakennuksille maahan asennetuilla kaksiputkielementeillä.

### 2.1 Marski

As Oy Hiukkavaaran Marski on valmistunut vuonna 2014 ja sijaitsee Oulun Hiukkavaarassa. Marskiin kuuluu viisi erillistä asuinrakennusta, jotka on nimetty talo A, talo B, talo C, talo D ja talo E. Lämmityksen mitoituslämpötilat ovat 42 °C menovedelle ja 37 °C paluuviedelle.

Lämpöjohtona lämmönjakokeskuksen ja asuintalojen välillä on Uponor Thermo Twin kaksiputkinen happidiffuusiosuojattu elementti. Putkielementin eristeen lämmönjohtavuus on 0,037 W/mK (kuva 1).



*KUVA 1. Uponor Thermo Twin (5)*

Marskin talot, niiden käyttötarkoitus, lämmitetty nettoala ja energiatodistuksessa ilmoitettu E-luku luku sekä energiatehokkuusluokka on esitetty taulukossa 1.

*TAULUKKO 1. Marskin talot*

Talo	Käyttötarkoitus	Lämmitetty nettoala [m <sup>2</sup> ]	E-luku [kWh/m <sup>2</sup> vuosi]	Energiatehokkuusluokka
A	Paritalo	174,7	152	C
B	Rivitalo	303,6	145	C
C	Rivitalo	275,7	145	C
D	Rivitalo	391,1	141	C
E	Rivitalo	391,1	141	C

## 2.2 Safiiri

As Oy Oulun Safiiri on valmistunut vuonna 2013 ja sijaitsee Oulun Ritaharjussa. Safiiriin kuuluu kolme erillistä asuinrakennusta, jotka on nimetty talo A, talo B ja talo C. Lämmityksen mitoituslämpötilat ovat 35 °C menovedelle ja 30 °C paluuedelle.

Lämpöjohtona lämmönjakokeskuksen ja asuintalojen välillä on MX-Radiflex kaksiputkinen happidiffuusiosuojattu elementti. Putkielementin eristeen lämmönjohtavuus on 0,037 W/mK (kuva 2).





*KUVA 2. MX-Radiflex (6)*

Safiirin talot, niiden käyttötarkoitus, lämmitetty nettoala ja energiatodistuksessa ilmoitettu E-luku sekä energiatehokkuusluokka on esitetty taulukossa 2.

*TAULUKKO 2. Safiirin talot*

Talo	Käyttötarkoitus	Lämmitetty na. [m <sup>2</sup> ]	E-luku [kWh/m <sup>2</sup> vuosi]	Energiatehokkuusluokka
A	Rivitalo	293	141	C
B	Rivitalo	293	144	C
C	Rivitalo	363	140	C

## 2.3 Ukko-Pekka

As Oy Oulun Ukko-Pekka on valmistunut vuonna 2014 ja sijaitsee Oulun Kivikkokankaalla. Ukko-Pekkaan kuuluu kuusi erillistä asuinrakennusta, jotka on nimetty talo A, talo B, talo C, talo D, talo E ja talo F. Lämmityksen mitoituslämpötilat ovat 35 °C menovedelle ja 30 °C paluuvedelle.

Lämpöjohtona lämmönjakokeskuksen ja asuintalojen välillä on MX-Radiflex kaksiputkinen happidiffuusiosuojattu elementti. Putkielementin eristeen lämmönjohtavuus on 0,037 W/mK (kuva 2).

Ukko-Pekan talot, niiden käyttötarkoitus, lämmitetty nettoala ja energiatodistuksessa ilmoitettu E-luku sekä energiatehokkuusluokka on esitetty taulukossa 3.

*TAULUKKO 3. Ukko-Pekan talot*

Talo	Käyttötarkoitus	Lämmitetty na. [m <sup>2</sup> ]	E-luku [kWh/m <sup>2</sup> vuosi]	Energiatehokkuusluokka
A	Rivitalo	266,8	140	C
B	Rivitalo	266,8	148	C
C	Rivitalo	273,9	147	C
D	Rivitalo	224,4	149	C
E	Rivitalo	224,4	149	C
F	Rivitalo	247,3	139	C

## 3 LASKENTAMENETELMÄT

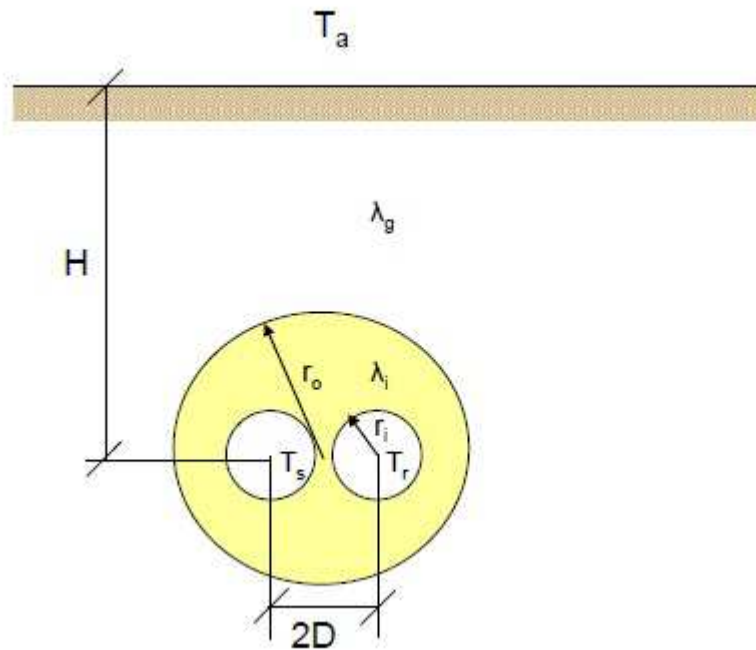
### 3.1 Lämpöhäviölaskenta

Tässä työssä lämpöhäviölaskennassa käytetään Chalmersin teknillisen yliopiston esittämää laskentamenetelmää. Tätä laskentamenetelmää on käyttänyt mm. ympäristöministeriö omassa lämmitysjärjestelmien laskentaoppaassa sekä Lappeenrannan teknillinen yliopisto raportissaan "Kaukolämpöjohtojen optimaalisen eristyspaksuuden tarkastelu". Laskentamenetelmän malli on stationäärinen, joten se ei sovellu hetkellisten tehojen laskentaan. Menetelmää ei suositella käytettäväksi alle kuukauden pituisille laskentajaksoille (7, s. 63).

Ympäristöministeriön laskentaoppaassa on havainnollistavat esimerkkilaskelmat kuvineen mutta laskentaoppaan esimerkkilaskuissa oli laskuvirhe sivun 129 ensimmäisessä laskussa. Tarjolla olevia kaavoja ei koskaan tulisi sokeasti käyttää, vaan testata kaavojen toimivuus muutamilla esimerkkilaskuilla.

Kaavat on tarkoitettu tapaukseen jossa virtausputket ovat vierekkäin. Hyvällä tarkkuudella ne soveltuvat myös tapaukseen jossa virtausputket ovat päällekkäin. (7, s. 66.) Kaavojen toimivuus testattiin laskuilla, jossa kaavoilla laskettuja Mpuk-kaukolämpöjohdon lämpöhäviöitä verrattiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston raportissa esitettyihin lämpöhäviöihin (8, s. 24). Tulokset olivat samaa suuruusluokkaa keskenään.

Kaksiputkielementin tarkastelua laskennallisesti on tehty huomattavasti yksiputkielementtiä vähemmän. Kaavoja kaksiputkielementin laskentaan ei esimerkiksi oppikirjoista löydy toisin kuin yksiputkielementin. Maahan asennetun kaksiputkielementin (Mpuk) lämpöhäviöiden laskennassa tarvittavia merkintöjä on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3 .Kaksiputkielementin lämpöhäviöiden määrittämisessä tarvittavia merkintöjä (7, s. 66)

Kaksiputkielementin kokonaislämpöhäviö metriä kohden lasketaan kaavalla 1 (7, s. 64).

$$\Phi'_t = \Phi'_s + \Phi'_r$$

KAAVA 1

$\Phi'_t$ = kaksiputkielementin kokonaislämpöhäviö metriä kohden (W/m)

$\Phi'_s$ = menoputken lämpöhäviö metriä kohden (W/m)

$\Phi'_r$ = paluuputken lämpöhäviö metriä kohden (W/m)

Kaksiputkielementin lämpöhäviöissä tulee ottaa huomioon lämpöhäviöt ulkoilmaan ja virtausputkien välinen lämmönsiirtyminen. Menoputken lämpöhäviö määritellään kaavalla 2. (7, s. 64.)

$$\Phi'_s = \Phi'_a + \Phi'_b \quad \text{KAAVA 2}$$

$\Phi'_s$  = menoputken lämpöhäviö metriä kohden (W/m)

$\Phi'_a$  = meno- ja paluuputken lämpöhäviö ulkoilmaan metriä kohden (W/m)

$\Phi'_b$  = meno- ja paluuputken välinen lämpövirta metriä kohden (W/m)

Paluuputken lämpöhäviö määritellään kaavalla 3 (7, s. 65).

$$\Phi'_r = \Phi'_a - \Phi'_b \quad \text{KAAVA 3}$$

$\Phi'_r$  = menoputken lämpöhäviö metriä kohden (W/m)

$\Phi'_a$  = meno- ja paluuputken lämpöhäviö ulkoilmaan metriä kohden (W/m)

$\Phi'_b$  = meno- ja paluuputken välinen lämpövirta metriä kohden (W/m)

Kaksiputkielementin lämpöhäviö ulkoilmaan määritellään kaavalla 4 (7, s. 66).

$$\Phi'_a = \left( \frac{T_s + T_r}{2} - T_a \right) 2\pi\lambda_i h_a \quad \text{KAAVA 4}$$

$\Phi'_a$  = meno- ja paluuputken lämpöhäviö ulkoilmaan metriä kohden (W/m)

$T_s$  = menoveden lämpötila (°C)

$T_r$  = paluuv veden lämpötila (°C)

$T_a$  = ulkoilman lämpötila (°C)

$\lambda_i$  = eristeen lämmönjohtavuus (W/mK)

$h_a$  = putkien ja maan pinnan välinen lämmönsiirtokerroin

Lämpövirta meno- ja paluuputken välillä määritellään kaavalla 5 (7, s. 67).

$$\Phi'_b = \left( \frac{T_s - T_r}{2} \right) 2\pi\lambda_i h_b \quad \text{KAAVA 5}$$

$\Phi'_b$  = meno- ja paluuputken välinen lämpövirta metriä kohden (W/m)

$T_s$  = menoveden lämpötila (°C)

$T_r$  = paluuv veden lämpötila (°C)

$\lambda_i$  = eristeen lämmönjohtavuus (W/mK)

$h_b$  = putkien välinen lämmönsiirtokerroin

Lämmönsiirtokertoimen ulkoilmaan laskentaan tarvitaan apumuuttuja. Apumuuttuja  $\sigma$  lasketaan kaavalla 6. (7, s. 67.)

$$\sigma = \frac{\lambda_i - \lambda_g}{\lambda_i + \lambda_g} \quad \text{KAAVA 6}$$

$\sigma$  = apumuuttuja

$\lambda_i$  = eristeen lämmönjohtavuus (W/mK)

$\lambda_g$  = maan lämmönjohtavuus (W/mK)

Lämmönsiirtokerroin ulkoilmaan määritellään kaavalla 7 (7, s. 67).

$$\frac{1}{h_a} = \frac{2\lambda_i}{\lambda_g} \ln\left(\frac{2H}{r_o}\right) + \ln\left(\frac{r_o^2}{2Dr_s}\right) + \sigma \ln\left(\frac{r_o^4}{r_o^4 - D^4}\right) - \frac{\left(\frac{r_s}{2D} - \frac{\sigma 2r_s D^3}{r_o^4}\right)^2}{1 + \left(\frac{r_o}{2D}\right)^2 + \sigma \left(\frac{2r_s r_o^2 D}{r_o^4 - D^4}\right)^2} \quad \text{KAAVA 7}$$

$1/h_a$  = lämmönsiirtokerroin ulkoilmaan

$\lambda_i$  = eristeen lämmönjohtavuus (W/mK)

$\lambda_g$  = maan lämmönjohtavuus (W/mK)

$H$  = kaksiputkielementin asennussyvyys (m)

$r_o$  = kaksiputkielementin säde ulkopintaan (m)

$r_s$  = virtausputken säde ulkopintaan (m)

$D$  = puolet virtausputkien etäisyydestä (m)

$\sigma$  = apumuuttuja

Lämmönsiirtokertoimen virtausputkien välillä laskentaan tarvitaan apumuuttuja. Apumuuttuja X lasketaan kaavalla 8. (7, s. 68.)

$$X = \frac{2(1-\sigma^2)}{1-\sigma\left(\frac{r_o}{2H}\right)^2} \quad \text{KAAVA 8}$$

$X$  = apumuuttuja

$\sigma$  = apumuuttuja

$r_o$  = kaksiputkielementin säde ulkopintaan (m)

$H$  = kaksiputkielementin asennussyvyys (m)

Lämmönsiirtokerroin virtausputkien välillä määritellään kaavalla 9 (7, s. 67).

$$\frac{1}{h_b} = \ln\left(\frac{2D}{r_s}\right) + \sigma \ln\left(\frac{r_o^2 + D^2}{r_o^2 - D^2}\right) - \frac{\left(\frac{r_s}{2D} - X \frac{Dr_s}{4H^2} + \frac{2\sigma r_s r_o^2 D}{r_o^4 - D^4}\right)^2}{1 - \left(\frac{r_s}{2D}\right)^2 - \frac{X r_s}{2H} + 2\sigma r_s^2 r_o^2 \frac{r_o^4 + D^4}{(r_o^4 - D^4)^2}} - X \left(\frac{D}{2H}\right)^2 \quad \text{KAAVA 9}$$

$1/h_b$  = lämmönsiirtokerroin virtausputkien välillä

$D$  = puolet virtausputkien etäisyydestä (m)

$r_s$  = virtausputken säde ulkopintaan (m)

$\sigma$  = apumuuttuja

$r_o$  = kaksiputkielementin säde ulkopintaan (m)

$X$  = apumuuttuja

$H$  = kaksiputkielementin asennussyvyys (m)

Lämpöhäviöenergia kuukaudessa metriä kohden lasketaan kaavalla 10 (7, s. 129).

$$Q_{\text{häviö}} = \Phi'_t \frac{\Delta_t}{1000} \quad \text{KAAVA 10}$$

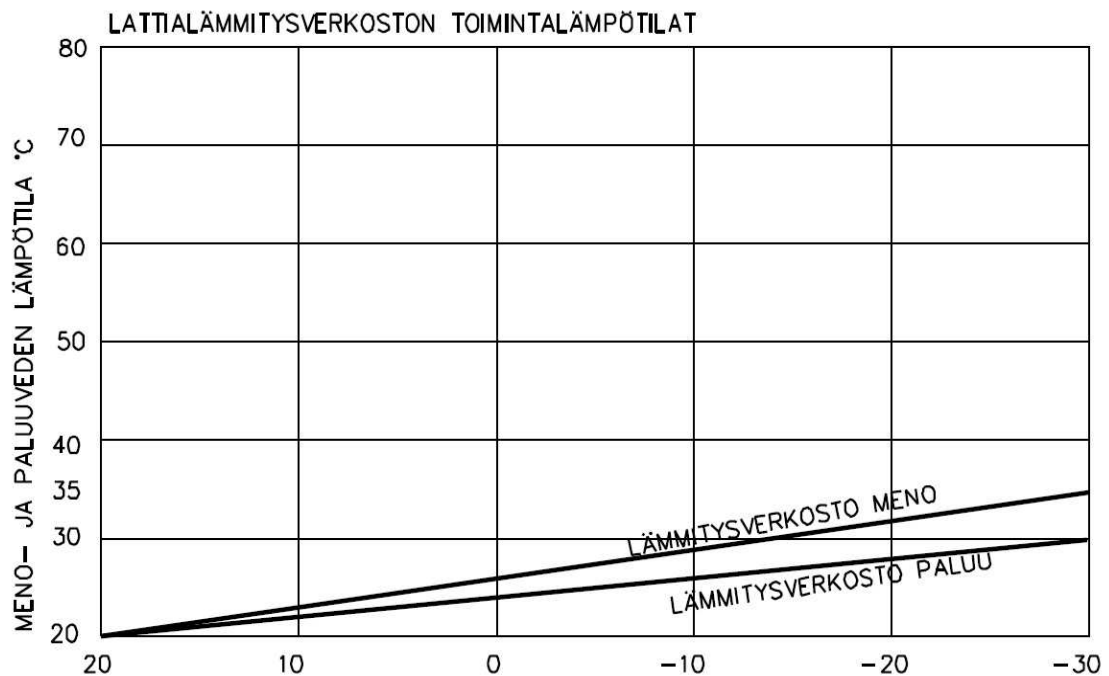
$Q_{\text{häviö}}$  = lämpöhäviöenergia kuukaudessa metriä kohden (kWh/m)

$\Phi'_t$  = putkielementin kokonaislämpöhäviö metriä kohden (W/m)

$\Delta_t$  = kuukauden tunnit (h)

### 3.2 Lämmitysverkoston lämpötilat

Kuvassa 4 on esitetty lämmitysverkoston toimintalämpötilat. Lämmitysverkoston toimintalämpötilat saadaan rakennuksen LVI-suunnitelman kytkentäkaaviossa olevasta lämmitysverkoston toimintalämpötilakäyrästä. Y-akselin pituus kuvastaa hyvin sitä, kuinka mitoituslämpötilat ovat laskeneet huomattavasti energiamääräysten tiukentuessa. Mitoituslämpötiloista on kerrottu tarkemmin luvussa 6.



KUVA 4. Lämmitysverkoston toimintalämpötilat (9)



Lämmitysveden meno- ja paluulämpötilojen käyrät ovat lineaarisia suoria, joten lämpötilat eri ulkoilman lämpötiloissa saadaan määritettyä kulmakertoimen avulla. Kulmakerroin lasketaan kaavalla 11 (10, s. 28).

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad \text{KAAVA 11}$$

$k$  = kulmakerroin

$\Delta y$  = y-koordinaatin muutos

$\Delta x$  = x-koordinaatin muutos

Menoveden lämpötila määritellään kaavalla 12.

$$T_s = T_{s \text{ mitoitus}} - k_s(T_a - T_{a \text{ mitoitus}}) \quad \text{KAAVA 12}$$

$T_s$  = menoveden lämpötila (°C)

$T_{s \text{ mitoitus}}$  = menoveden mitoituslämpötila (°C)

$k_s$  = menoveden säätökäyrän kulmakerroin

$T_a$  = ulkoilman lämpötila (°C)

$T_{a \text{ mitoitus}}$  = ulkoilman mitoituslämpötila (°C)

Paluuv veden lämpötila määritellään kaavalla 13.

$$T_r = T_{r \text{ mitoitus}} - k_r(T_a - T_{a \text{ mitoitus}}) \quad \text{KAAVA 13}$$

$T_r$  = paluuv veden lämpötila (°C)

$T_{r \text{ mitoitus}}$  = paluuv veden mitoituslämpötila (°C)

$k_r$  = paluuv veden säätökäyrän kulmakerroin

$T_a$  = ulkoilman lämpötila (°C)

$T_{a \text{ mitoitus}}$  = ulkoilman mitoituslämpötila (°C)

## 4 LÄMPÖHÄVIÖLASKENNAN TULOKSET

### 4.1 Marski

Kaksiputkielementin asennussyvyys vaihtelee Marskissa 0,9 m...1,1 m. Laskennassa käytetään arvoa 1 m. Maaperän maalaji Marskin alueella on silttimoreeni, joten maan lämmönjohtavuutena käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman C4 antamaa arvoa 2,3 W/mK (11, s. 19).

Ulkoilman lämpötiloina käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 antamia kuukausittaisia ulkoilman keskilämpötiloja Helsingissä (3, s. 30). Tämä sen takia, että E-luvun laskennassa käytetään vyöhykkeen 1 säätietoja riippumatta siitä, missä rakennus sijaitsee (3, s. 18). Ulkoilman mitoituslämpötilana Oulussa käytetään lämpötilaa  $-32\text{ °C}$  (11, s. 29).

Asuinrakennuskohtaiset lähtötiedot ovat esitetty taulukossa 4.

*TAULUKKO 4. Asuinrakennuskohtaiset lähtötiedot Marski*

Talo	Kaksiputkielementin pituus [m]	Virtausputkien ulkosäde [m]	Puolet virtausputkien keskipisteiden etäisyydestä [m]	Putkielementin säde ulkopintaan [m]
A	44,5	0,016	0,020	0,175
B	59,3	0,020	0,024	0,175
C	66,1	0,020	0,024	0,175
D	37,3	0,025	0,029	0,200
E	28,1	0,025	0,029	0,200

Marskin lämpöhäviölaskennan tuloksia on esitetty taulukossa 5.

*TAULUKKO 5. Marskin lämpöhäviölaskennan tuloksia*

<b>Talo</b>	<b><math>Q_{\text{häviö}}</math> vuotuinen [kWh/m a]</b>	<b><math>Q_{\text{häviö}}</math> vuotuinen [kWh]</b>
A	20,43	909
B	22,81	1352
C	22,81	1507
D	23,83	889
E	23,83	670

Taulukosta 5 nähdään, että lämpöhäviöt vuodessa metriä kohden jäävät reilusti alle RakMk:n osan D5 taulukon antaman arvon 85 kWh/m a. Vuotuinen lämpöhäviö taloa kohden vuodessa vaihtelee talojen välillä huomattavasti, eripituisten kanaalien vuoksi.

## **4.2 Safiiri**

Kaksiputkielementin asennussyvyys vaihtelee Safiirissa 0,9 m...1,1 m. Laskennassa käytetään arvoa 1 m. Maaperän maalaji Marskin alueella on sora/sepeli, joten maan lämmönjohtavuutena käytetään Suomen rakentamismääräyskoelman C4 antamaa arvoa 2,3 W/mK (11, s. 19). Ulkoilman lämpötiloina käytetään Marskissa mainittuja kuukausittaisia ulkoilman keskilämpötiloja.

Asuinrakennuskohtaiset lähtötiedot ovat esitetty taulukossa 6.

*TAULUKKO 6. Safiirin lähtötiedot*

<b>Talo</b>	<b>Kaksiput- kielementin pituus [m]</b>	<b>Virtausputki- en ulkosäde [m]</b>	<b>Puolet vir- tausputkien keskipistei- den etäisyy- destä [m]</b>	<b>Putkielemen- tin säde ul- kopintaan [m]</b>
A	37,4	0,020	0,030	0,16
B	58,3	0,020	0,030	0,16
C	28,9	0,025	0,035	0,16

Safiirin lämpöhäviölaskennan tuloksia on esitetty taulukossa 7.

*TAULUKKO 7. Safiirin lämpöhäviölaskennan tuloksia*

<b>Talo</b>	<b>Q<sub>häviö</sub> vuotuinen [kWh/m a]</b>	<b>Q<sub>häviö</sub> vuotuinen [kWh]</b>
A	32,34	1209
B	32,34	1885
C	36,88	1066

Taulukosta 7 nähdään, että lämpöhäviöt vuodessa metriä kohden jäävät reilusti alle RakMk:n osan D5 taulukon antaman arvon 85 kWh/m a. Vuotuinen lämpöhäviö taloa kohden vuodessa vaihtelee talojen välillä huomattavasti, eripituisten lämpöjohtojen vuoksi.

### 4.3 Ukko-Pekka

Putkielementin asennussyvyys vaihtelee Ukko-Pekassa 0,9 m...1,1 m. Laskennassa käytetään arvoa 1 m. Maaperän maalaji Marskin alueella on hiekka/siltti, joten maan lämmönjohtavuutena käytetään Suomen rakentamismääräyskoelman C4 antamaa arvoa 2,3 W/mK (11, s. 19). Ulkoilman lämpötiloina käytetään Marskissa mainittuja kuukausittaisia ulkoilman keskilämpötiloja.

Asuinrakennuskohtaiset lähtötiedot ovat esitetty taulukossa 8.

*TAULUKKO 8. Ukko-Pekan lähtötiedot*

<b>Talo</b>	<b>Kaksiputkielementin pituus [m]</b>	<b>Virtausputkien ulkosäde [m]</b>	<b>Puolet virtausputkien keskipisteiden etäisyydestä [m]</b>	<b>Putkielementin säde ulkopintaan [m]</b>
A	24,2	0,020	0,030	0,16
B	13,7	0,020	0,030	0,16
C	23,6	0,020	0,030	0,16
D	23,2	0,020	0,030	0,16
E	11,5	0,020	0,030	0,16
F	40,0	0,020	0,030	0,16
BC	68,9	0,025	0,035	0,16
DE	65,2	0,025	0,035	0,16

Ukko-Pekan lämpöhäviölaskennan tuloksia on esitetty taulukossa 9.

*TAULUKKO 9. Ukko-Pekan lämpöhäviölaskennan tuloksia*

Talo	$Q_{\text{häviö}}$ vuotuinen [kWh/m a]	$Q_{\text{häviö}}$ vuotuinen [kWh]
A	32,34	783
B	32,34	1181
C	32,34	1501
D	32,34	1488
E	32,34	1110
F	32,34	1293
BC	36,88	-
DE	36,88	-

Taloille B ja C menevät lämpöjohdot tulevat ensin 68,9 m matkan haaroituskaivolle yhtenä isompana putkielementtinä. Tällä matkalla tapahtuva lämpöhäviö on jaettu puoliksi talojen B ja C lämpöhäviöille, jotka otetaan huomioon E-lukulaskennassa. Taloille D ja E menevät lämpöjohdot tulevan niin ikään omalle haaroituskaivolle yhtenä isompana putkielementtinä.

Taulukosta 9 nähdään, että lämpöhäviöt vuodessa metriä kohden jäävät reilusti alle RakMk:n osan D5 taulukon antaman arvon 85 kWh/m a. Vuotuinen lämpöhäviö taloa kohden vuodessa vaihtelee talojen välillä huomattavasti, eripituisten kanaalien vuoksi.

## 5 VAIKUTUS E-LUKUUN

Kohteiden E-lukulaskenta on toteutettu D.O.F. tech Oy:n ja Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n tarjoamalla laskentatyökalulla. E-luku lasketaan RakMk:n osan D5 mukaan. Kaikissa esimerkkikohteissa laskettu E-luku jäi alle RakMk:n osan D3 asettamien ylärajojen. E-lukujen ylärajat on esitetty kuvassa 5.

Luokka 1	Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalo	Lämmitetty nettoala, $A_{\text{netto}}$	kWh/m <sup>2</sup> vuodessa
	Pientalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	204
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$372 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$173 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	130
	Hirsitalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	229
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$397 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$198 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	155
Rivi- ja ketjutalo		150	

KUVA 5. E-luvun ylärajat (3, s. 9)

Vertailu vaikutuksesta E-lukuun Safiirin taloissa nähdään taulukosta 10. Taulukossa 10 on esitetty Safiirin talot. Toisessa sarakkeessa on esitetty putkielementin lämpöhäviöt RakMk:n osan D5 taulukon mukaan. Kolmannessa sarakkeessa on esitetty E-lukulaskennassa käytetty putkielementin lämpöhäviö. Neljännessä sarakkeessa on esitetty laskettu putkielementin lämpöhäviö. Viidennessä sarakkeessa on esitetty rakennuksen E-luku, jonka laskennassa on käytetty sarakkeen 2 lämpöhäviöitä. Kuudennessa sarakkeessa on esitetty rakennuksen E-luku, jonka laskennassa on käytetty sarakkeen 3 lämpöhäviöitä. Seitsemännessä sarakkeessa on esitetty rakennuksen E-luku, jonka laskennassa on käytetty sarakkeen 4 lämpöhäviöitä.

Taulukosta nähdään kuinka lämpöhäviöt vaikuttavat E-lukuun. Mikäli talossa B käytettäisiin RakMk:n osan D5 taulukon arvoja ei päästäisi ympäristöministeriön

asettamaan vaatimukseen, joka kyseisellä rakennuksella on  $\leq 150 \text{ kWh/m}^2\text{vuosi}$ .  
Laskettujen lämpöhäviöiden perusteella laskettu E-luku on pienempi kuin RakMk:n osan D5 perusteella laskettu E-luku.

*TAULUKKO 10. Lämpöhäviöiden vaikutus E-lukuun Safiirin taloissa*

Talo	D5 mukaan kWh	käytetty kWh	laskettu kWh	D5 mukaan E-luku	käytetty E-luku	laskettu E-luku
A	3179	960	1209	148	141	142
B	4955	2460	1885	152	144	142
C	2456	1380	1065	142	139	138

E-lukuvertailu toteutettuna Ukko-Pekan taloille nähdään taulukosta 11. Taulukosta nähdään että taloilla B ja C sekä D ja E on käytetty samoja lämpöhäviöitä, vaikka putkielementtien pituuksissa oli eroja. Ukko-Pekassa kaikissa tapauksissa E-luku ei ylitä RakMk:n osan D3 asettamaa yläraja-arvoa.



*TAULUKKO 11. Lämpöhäviöiden vaikutus E-lukuun Ukko-Pekan rakennuksissa*

<b>Talo</b>	<b>D5 mu- kaan kWh</b>	<b>käytetty kWh</b>	<b>laskettu kWh</b>	<b>D5 mu- kaan E- luku</b>	<b>käytetty E-luku</b>	<b>laskettu E-luku</b>
A	2057	2684	783	137	140	133
B	4093	5368	1152	142	147	131
C	4934	5368	1517	145	146	132
D	4743	5124	1502	147	149	133
E	3749	5124	1019	143	149	131
F	3400	1830	1293	145	138	136

## 6 MITOITUSLÄMPÖTILOJEN VAIKUTUS LÄMPÖHÄVIÖIHIN

Kuvassa 6 on esitetty RakMk:n osan D5 lämpöhäviöiden ohjearvoja lämmittämättömässä tilassa kulkeville lämpöjohtoilte mitoitustilapötiloilla 70/40 °C. Näitä arvoja käytetään E-luvun laskennassa, jos tarkempia lämpöjohtojen lämpöhäviötietoja ei ole saatavilla.

Rakennustyyppi	Jakoputkien sijoitus	Vuotuinen ominaislämpöhäviö <sup>1)</sup>
		Q <sub>jakehäviöt,ulos</sub> kWh/(m a)
<b>Pientalo<sup>2)</sup></b>	<b>Jakoputket maassa</b>	
	-eristetty	60
	<b>Jakoputket puolilämpimässä tilassa<sup>4)</sup></b>	
	-eristämätön	150
	-eristetty	25
	<b>Jakoputket ulkoilmassa</b>	
	-eristetty	35
<b>Muu rakennus<sup>3)</sup></b>	<b>Jakoputket maassa</b>	
	-eristetty	85
	<b>Jakoputket puolilämpimässä tilassa<sup>4)</sup></b>	
	-eristämätön	250
	-eristetty	30
	<b>Jakoputket ulkoilmassa</b>	
	-eristetty	50

<sup>1)</sup> Määritetty lämmönjakoverkoston mitoitustilapötiloilla 70/40 °C.

<sup>2)</sup> Määritetty putkikoolla DN20.

<sup>3)</sup> Määritetty putkikoolla DN40.

<sup>4)</sup> Puolilämpimän tilan lämpötila 15 °C.

**KUVA 6.** Lämmittämättömässä tilassa olevien lämpöjohtojen lämpöhäviöiden ohjearvoja (12, s. 39)

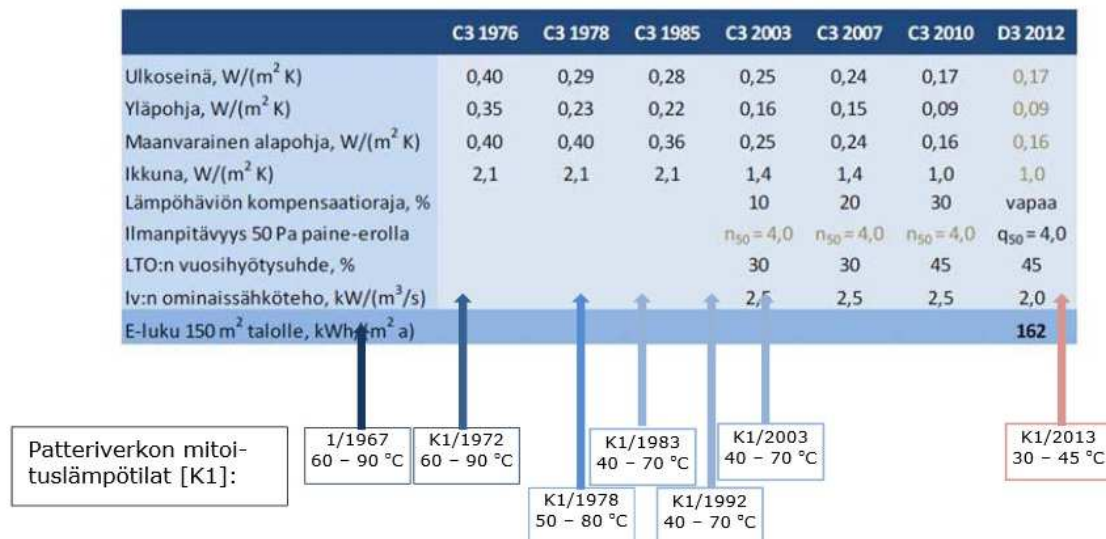
Kuvassa 7 on esitetty voimassa olevan K1:n uudisrakennusten kaukolämmön toisiopuolen mitoitustilapötilojen maksimiärvot. Lattialämmityksellä toisiopuolen menoveden lämpötilan maksimiärvot on 35 °C ja paluuveten 30 °C. Radiaattori- lämmityksellä toisiopuolella suositeltava menoveden lämpötila on 45 °C ja paluuveten 30 °C. Poikkeustapauksissa radiaattorilämmityksellä voidaan menoveden lämpötilalla käyttää maksimissaan arvoa 60 °C. Poikkeustapauksena

pidetään tilannetta, jossa menoveden lämpötila 45 °C johtaisi radiaattoreiden ja putkien sijoitus- sekä asennusongelmiin. Radiaattorilämmityksessä menoveden lämpötilaksi suositellaan mahdollisimman alhaista lämpötilaa verkoston hyvän säädettävyyden vuoksi. Väliarvoja tulisi käyttää eli aina pyrkiä mahdollisimman alhaiseen menoveden lämpötilaan. Alhainen menoveden lämpötila parantaa energiatehokkuutta. (13, s. 8.)

	LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C			
	ENSIÖ		TOISIO	
	TULO	PALUU	PALUU	MENO
Lämmityksen lämmönsiirtimet, radiaattorilämmitys - suositus	115	33 (max)	30 (max)	45 (max)
Lämmityksen lämmönsiirtimet, radiaattorilämmitys - poikkeustapaukset	115	33 (max)	30 (max)	60 (max)
Lämmityksen lämmönsiirtimet, lattialämmitys	115	33 (max)	30 (max)	35 (max)
Kosteiden tilojen mukavuuslattialämmitys	70	28 (max)	25 (max)	30 (max)
Ilmanvaihdon lämmönsiirtimet	115	33 (max)	30 (max)	60 (max)
Huomautus		Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila		

*KUVA 7. Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat uudisrakennuksissa (13, s. 8)*

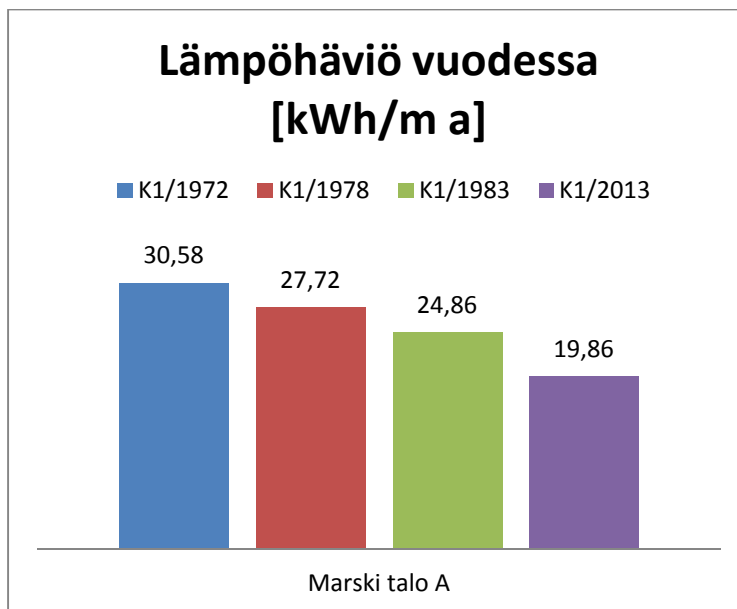
Mitoituslämpötiloilla on huomattavan suuri merkitys lämpöjohtojen lämpöhäviöihin. Rakentamisen energiatehokkuusvaatimukset ovat tiukentuneet ja niiden vaikutuksesta uudisrakennusten tehontarpeet ovat pienentyneet. Kuvassa 8 näkyy uudisrakennusten energiatehokkuusvaatimusten sekä K1-patteriverkoston mitoituslämpötilojen kehitys. (14, s. 1)



KUVA 8. Uudisrakennusten energiamääräysten ja lämmitysverkoston mitoituslämpötilojen kehitys (14, s. 1)

Marskin A-talolle tehty vertailu eri mitoituslämpötiloilla on esitetty kuvassa 9.

Kaaviosta nähdään kuinka mitoituslämpötilojen kehityksen myötä lämpöjohtojen lämpöhäviöt ovat pienentyneet.



KUVA 9. Rakennusten ulkopuolisten lämpöjohtojen lämpöhäviöiden kehitys mitoituslämpötilojen laskun seurauksena

## 7 LÄMPÖHÄVIÖKUSTANNUKSET

Lämpöhäviöiden perusteella laskettiin lämpöhäviöt euroissa. Energian hintana on käytetty Oulun Energialta löytyvää kaukolämpöhinnastoa (kuva 10).

TUOTE	HINTA
<b>Energiamaksut</b>	
- Energiamaksu Oulun kantakaupunki, Oulunsalo, Haukipudas	47,08 €/MWh
- Energiamaksu Kiimingin kuntakeskus, Välikylän yrityspuisto, Jääli	56,79 €/MWh

KUVA 10. Oulun Energian kaukolämpöhinnasto 27.2.2015 (15)

Taulukoissa 12–14 on kohdekohtaisesti esitetty kaksiputkielementin lämpöhäviöistä aiheutuvat kustannukset. Lisäksi on tehty vertailu, jossa käytetyn kaksiputkielementin halkaisija on tuplattu lisäämällä siihen eristettä.

TAULUKKO 12. Marski

Talo	Käytetty kaksiputkielementti		Vertailu kaksiputkielementti	
	Lämpöhäviö [kWh/a]	Lämpöhäviöt [€]	Lämpöhäviö [kWh/a]	Lämpöhäviöt [€]
A	909	42,80	675	31,78
B	1352	63,65	973	45,78
C	1507	70,95	1085	51,08
D	889	41,85	632	29,75
E	670	31,54	476	22,41

TAULUKKO 13. Safiiri

Talo	Käytetty kaksiputkielementti		Vertailu kaksiputkielementti	
	Lämpöhäviö [kWh/a]	Lämpöhäviöt [€]	Lämpöhäviö [kWh/a]	Lämpöhäviöt [€]
A	1209	56,92	840	39,55
B	1885	88,75	1309	61,63
C	1065	50,14	709	33,38

TAULUKKO 14. Ukko-Pekka

Talo	Käytetty kaksiputkielementti		Vertailu kaksiputkielementti	
	Lämpöhäviö [kWh/a]	Lämpöhäviöt [€]	Lämpöhäviö [kWh/a]	Lämpöhäviöt [€]
A	783	36,86	543	25,56
B	1181	55,60	1045	49,20
C	1501	70,67	1268	59,70
D	1488	70,06	1259	59,27
E	1110	52,26	749	35,26
F	1293	60,87	898	42,28

Kaksinkertaistamalla elementin ulkohalkaisijaa lisäämällä siihen eristettä lämpöhäviökustannukset laskisivat keskimäärin 0,33 €/m. Taloissa vuotuinen säästö olisi keskimäärin 26,4 %.

## 8 E-LUVUN LASKENNAN TARKKUUS

Energiatodistuksen laatijan pätevydestä määrätään laissa 170/2013. Energiatodistuksen laatimistehtävän vaatimustasoja ovat perustaso ja ylempi taso. Ylemmän tason pätevyyttä tarvitaan silloin, kun laaditaan energiatodistusta rakennettavalle jäähdytetylle rakennukselle tai rakennuksen osalle. Ylemmän tason pätevyyttä vaaditaan myös tilanteissa, joissa laskentamenetelmä on dynaaminen. Kokonaisenergiankulutuksen dynaamisella laskentamenetelmällä tarkoitetaan laskentamenetelmää, jossa lämmönsiirron laskennassa otetaan huomioon rakenteiden lämmönvarausominaisuus ajasta riippuvaisena. Muulloin vaativuustaso perustaso on riittävä.

Kun esimerkkikohteiden E-luku laskettiin käyttämällä suunnitelmissa olevia kaksiputkielementtien pituuksia ja RakMk:n osan D5 taulukkoarvoja päästiin eri tuloksiin kuin energiatodistuksissa. Edellä mainitulla tavalla laskemalla ei E-luku kuitenkaan ylittynyt kuin yhdessä talossa, Safiirin talo B:ssä. E-luvun laskennan tuloksissa voi olla suuriakin eroja sen mukaan, miten lähtötietoja on tulkittu ja käytetty. Tuloksiin vaikuttaa myös käytetty laskentatyökalu.

E-luvun laskennan tarkkuutta ja hyvyttä on yleisesti kritisoitu. Usein kuullaan myös puhuttavan suoranaisestä "kikkailusta", jos E-luku meinaa mennä yli sallitun arvon tai pyritään pääsemään mahdollisimman hyvää arvoon esimerkiksi tonttia haettaessa.

Tampereen asuntomessuilla kesällä 2012 esiteltiin messutalojen E-luvut. Messutaloille suoritettiin tarkistuslaskentaa, kun useiden mukana olleiden talotehtaiden mukaan laskelmissa oli suoranaisia virheitä tai puutteita. Useimmissa näistä tapauksista laskettu E-luku oli yllättäen kyllä liian hyvä. (16.)

Laskentakoulutuksissa laskettavien kohteiden erot eri laskijoiden kesken saattavat olla aluksi jopa 40 %, vaikka laskenta suoritetaan samalla ohjelmalla. Erot kuitenkin pienenevät koulutuksen edistyessä, mutta täsmälleen samoihin luke-

miin ei koulutuksen aikana ole päästy. Useimmiten vika ei kuitenkaan ole E-luvun laskennassa, vaan kyse on enemmänkin saaduista lähtötiedoista. (16.)



## 9 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää laskennallisesti lämpöjohtojen lämpöhäviöt vuodessa ja verrata niitä RakMk:n osan D5 taulukkoarvoihin. Tämä opinnäytetyö on teoreettinen tutkimustyö, koska se ei sisällä käytännön mittauksia. Laskelmat suoritettiin Excel-taulukkolaskentatyökalulla.

Laskennalliset lämpöhäviöt vuodessa olivat keskimäärin 32,19 kWh/m.

RakMk:n osan D5 taulukko antaa E-luvun laskennassa käytettäväksi vuotuiseksi lämpöhäviöksi 85 kWh/m. Taulukon arvo on siis 2,64-kertainen verrattuna laskennallisesti saatuihin lämpöhäviöihin. Laskelmien perusteella voidaan sanoa, että RakMk:n osan D5 taulukkoarvot ovat vanhentuneet. Mitoituslämpötilojen laskun myötä myös lämpöhäviöt ovat pienentyneet huomattavasti.

Käyttämällä laskettuja lämpöhäviöitä kohteiden E-luvun laskennassa saatiin E-luku pienenemään keskimäärin 9 kWh/m<sup>2</sup>. Energiatehokkuusluokkaan tällä ei ollut vaikutusta.

Oulun Energian kaukolämpöhinnaston ja laskettujen lämpöhäviöiden perusteella vuotuiset lämpöhäviökustannukset esimerkkikohteissa olivat keskimäärin 1,26 €/m. Kaksinkertaistamalla kaksiputkielementin paksuus lisäämällä siihen eristettä pienentyisivät lämpöhäviöt keskimäärin 26,4 %. Tämä tarkoittaisi 0,33 €/m vuotuista säästöä. Kaksiputkielementin halkaisijan kasvattaminen lisäisi muun muassa valmistus- ja logistiikkakustannuksia. Ilman tämän tarkempaa tarkastelua ei lämmöneristystasojen parantaminen vaikuta kovinkaan järkevältä.

## LÄHTEET

1. EU:n energiayhteistyö. 2015. Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: [https://www.tem.fi/energia/eu\\_n\\_energiayhteistyö](https://www.tem.fi/energia/eu_n_energiayhteistyö). Hakupäivä 16.4.2015
2. Rakennusten energiatehokkuus. 2010. Europa. Saatavissa: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/internal\\_market/single\\_market\\_for\\_goods/construction/en0021\\_fi.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/construction/en0021_fi.htm). Hakupäivä 16.4.2015
3. D3 (2012). 2011. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf). Hakupäivä 10.3.2015
4. Näin luet energiatodistusta. 2015. Motiva. Saatavissa: <http://energiatodistus.motiva.fi/mika-on-energiatodistus/nainluetenergiatodistusta/>. Hakupäivä 16.4.2015
5. Uponor thermo twin. 2015. Uponor. Saatavissa: [https://catalog.uponor.com/picture/online\\_thumb/1018135.jpg](https://catalog.uponor.com/picture/online_thumb/1018135.jpg). Hakupäivä 6.5.2015
6. Radiflex. 2013. Meltex. Saatavissa: <http://www.meltex.fi/media/kuvat/tuotekuvat/eristetyt-putket/cache/radi-twin-438x300.jpg>. Hakupäivä 16.4.2015
7. Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesi - laskentaopas. 2011. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BCA99FFCB-627B-48C8-8EB0-607F36B178A5%7D/30751>. Hakupäivä 18.2.2015
8. Kaukolämpöjohtojen optimaalisen eristyspaksuuden tarkastelu. 2009. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Saatavissa:

[http://energia.fi/sites/default/files/eristyspaksuuden\\_optimointi\\_raportti\\_lty\\_180909.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/eristyspaksuuden_optimointi_raportti_lty_180909.pdf). Hakupäivä 12.3.2015

9. Lohilahti, Sami 2015. Re: Insinööriyön asuntokohteet. Sähköpostiviesti. Vastanottaja: Juha-Matti Okkonen. 16.2.2015

10. Tekniikan kaavasto. 2005. Hämeenlinna: Karisto Oy.

11. C4 (2003). 2002. Lämmöneristys. Ohjeet 2003. C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf>. Hakupäivä 10.3.2015

12. D5 (2013). 2012. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: [www.ym.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468](http://www.ym.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468). Hakupäivä 14.4.2015

13. K1 (2013). 2013. Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet 2013, päivitys 9.5.2014. Helsinki: Lämmönkäyttötoimikunta. Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1\\_2013\\_20140509.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1_2013_20140509.pdf). Hakupäivä 14.4.2015

14. Tiitinen, Mirja 2013. Lämmityksen mitoituslämpötilat muistio. Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/images/muistio\\_lammityksenmitoituslampotilat\\_20131230.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/images/muistio_lammityksenmitoituslampotilat_20131230.pdf). Hakupäivä 20.4.2015

15. Kaukolämpöhinnasto. 2015. Oulun Energia. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/lampoa-kotiin/kaukolampohinnasto>. Hakupäivä 27.2.2015

16. Kuosmanen, Kikka 2012. E-luku, energiankulutuksen likiarvo? Saatavissa: <http://rakennusmaailma.fi/artikkelit/e-luku-energiankulutuksen-likiarvo>. Hakupäivä 27.4.2015